无氮饲粮中铬添加水平对大鼠器官指数、肠道黏膜形态及血清指标的影响

郑灿财　黄艳玲*

（西南民族大学生命科学与技术学院，成都 610041）

摘　要：本试验旨在研究无氮饲粮中添加不同水平丙酸铬（CrPro）对 Sprague Dawley（SD）大鼠器官指数、血清指标的影响。试验选用 36 只体重均一断奶雌性 SD 大鼠，分为 3 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 2 只鼠。各处理分别饲喂无氮基础饲粮（对照组，含铬 0.08 mg/kg）及在基础饲粮上分别添加 0.2 和 1.0 mg/kg CrPro（以铬计）的试验饲粮，试验期 21 d。结果显示：与对照组相比，1）饲粮添加 0.2 mg/kg 的 CrPro 显著提高了大鼠脾脏指数（P<0.05）。2)饲粮添加 1.0 mg/kg 的 CrPro 显著提高了大鼠空肠绒毛高度与隐窝深度的比值（P<0.05）。3)饲粮添加 1.0 mg/kg 的 CrPro 显著提高了血清白蛋白和尿酸含量（P<0.01），0.2 mg/kg Cr 添加提高了尿酸含量（P<0.05）。由此可见，无氮饲粮中补充适量铬对改善大鼠机体免疫器官指数、肠黏膜形态及血清蛋白质代谢有一定的影响。

关键词：无氮饲粮；丙酸铬；器官指数；肠道黏膜；血清指标

中图分类号：S816.72　　　　文献标识码：　　　　文献编码：

铬(Cr)是动物必需的微量元素之一，作为胰岛素作用的辅助因子，在机体碳水化合物、脂质、蛋白质和核酸代谢中扮演着重要角色[1]。许多研究表明，饲粮中添加适量的 Cr 具有提高动物生长性能、改善胴体品质、增强机体免疫力等作用[2-4]。铬在动物体内形成小分子 Cr 的有机配合物以被动扩散的形式通过肠黏膜进入到小肠内[5]，其吸收部位主要在小肠中部，其次是回肠和十二指肠[6]。肠黏膜不仅是机体消化、吸收营养物质的重要场所，而且还具有重要的免疫功能，保持正常的肠黏膜形态是肠道发挥其强大吸收功能、抵抗外界有害物质入侵、促进机体健康发育的前提。目前针对 Cr 方面的研究大多集中在 Cr 对机体糖代谢和脂肪沉积的影响[7-9]，而针对肠道黏膜形态和蛋白质代谢方面的研究较少。且有研究认为饲粮蛋白质是 Cr 的最好来源[10]，即摄入低蛋白质（无氮）饲粮可能会导致 Cr 的缺乏[10-11]。

收稿日期：2015-07-23

基金项目：四川省国际合作计划项目（2015HH0018）；西南民族大学研究生创新型科研项目（CX2014SZ78）

作者简介：郑灿财（1990-），男，山东汶上人，硕士研究生，从事矿物元素营养研究。E-mail: zhengcancai@126.com

*通信作者：黄艳玲，教授，硕士生导师，E-mail: swunylh@163.com

鉴于此，本研究以 Sprague Dawley（SD）大鼠为动物模型，选用新型 Cr 源——丙酸铬（Cr propionate,CrPro），通过饲喂无氮饲粮以产生低 Cr 状态，初步探讨饲粮添加不同水平的 CrPro 对 SD 大鼠器官发育、肠道黏膜形态和血清指标的影响，为人们进一步认识 Cr 的作用提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验材料及试验设计

选用体重（53.63±1.37） g 的无特定病原体（SPF）级雌性断奶 SD 大鼠 36 只，预饲喂 1 周后，根据各处理体重无差异（P＞0.05）原则分为 3 个处理，每个处理 6 个重复，每个重复 2 只大鼠。各处理分别饲喂无氮基础饲粮（对照组，含铬 0.08 mg/kg）及在基础饲粮上分别添加 0.2 和 1.0 mg/kg CrPro（以 Cr 计）的试验饲粮。试验期 21 d。CrPro 由建明（珠海）工业有限公司提供，实测 Cr 含量为 0.11%。根据前人研究结果[12]配制纯合无氮基础饲粮，其中的酪蛋白及十二水合硫酸铬钾以等比例玉米淀粉替代(凯氏定氮法测定基础饲粮中粗蛋白质含量为 0.70%，电热板消解-石墨炉原子吸收光谱法测定基础饲粮中 Cr 含量为 0.08 mg/kg)。

1.2　饲养管理

试验于 2015 年 3 月在西南民族大学小动物试验场进行。自然周期光照，动物房温度控制在（24±1） ℃，相对湿度控制在 50%～60%，排风扇 24 h 连续通风换气。大鼠自由采食试验饲粮，自由饮用去离子水（未检测出 Cr）。

1.3　测定指标及方法

1.3.1　血清指标

正式期第 21 天，禁食 8 h，对重复笼里的 2 只大鼠称重后，眼球动脉采血，4 ℃条件下以 2 000×g 离心 15 min 制得血清，置于-20 ℃条件下保存。

血清指标均由全自动生化分析仪（TC6010L，上海特康科技有限公司）测定，总蛋白（TP）含量测定采用双缩脲法；白蛋白（ALB）含量测定采用溴甲酚绿法；尿酸（UA）含量测定采用尿酸酶法。计算球蛋白（GLB）含量及白球比（A/G）。

GLB=TP-ALB。

1.3.2　器官指数

采血后，颈椎脱臼处死，剖离肝脏、脾脏、肾脏，称重并计算各器官指数。

器官指数（mg/g）=器官鲜重/活体重。

1.3.3　空肠黏膜形态

大鼠处死后，迅速剪取空肠段 2 cm，用 pH 7.2 的磷酸盐缓冲液（PBS）轻轻冲洗后置于 4%多聚甲醛固定液中固定，4 ℃保存 3 d 后，进行石蜡包埋、切片及常规苏木素-伊红（HE）染色，观察并测量空肠的绒毛高度（从绒毛基底部到绒毛顶端的距离），隐窝深度（隐窝基底部到绒毛基底部的距离），计算绒毛长度/隐窝深度的比值。

1.4　统计分析

应用 SAS 8.1 程序对数据进行单因素方差分析（one-way ANOVA），以 P<0.05 作为差异显著的标准，用 Duncan 氏法进行多重比较。

2　结　果

2.1　饲粮 CrPro 添加水平对大鼠器官指数的影响

由表 1 可知，饲粮 CrPro 添加水平对大鼠肝脏指数和肾脏指数无显著影响（P>0.05）。相比对照组和 1.0 mg/kg 组，0.2 mg/kg 组显著提高了脾脏指数（P＜0.05），而对照组和 1.0 mg/kg 组间无差异（P>0.05）。

表 1　饲粮 CrPro 添加水平对大鼠器官指数的影响

Table 1　Effects of dietary CrPro supplemented level on organ indexes of rats　　mg/g

项目 Items	CrPro 添加水平 CrPro supplemented level			SEM	P 值 P-value
	0	0.2	1.0		
肝脏指数 Liver index	54.72	59.03	55.26	2.50	0.42
脾脏指数 Spleen index	2.33[b]	2.58[a]	2.28[b]	0.08	0.04
肾脏指数 Kidney index	10.88	11.11	10.69	0.20	0.34

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2 饲粮 CrPro 添加水平对大鼠空肠黏膜形态的影响

由表 2 可知，饲粮 CrPro 添加水平对空肠绒毛高度、隐窝深度无显著影响（P>0.05）。与对照组相比，1.0 mg/kg 组显著提高了绒毛高度/隐窝深度（P＜0.05），而 0.2 mg/kg 组与对照组之间无显著差异（P>0.05）。

表 2　饲粮 CrPro 添加水平对大鼠空肠黏膜形态的影响

Table 2　Effects of dietary CrPro supplemented level on jejunal mucosa morphology of rats

项目 Items	CrPro 添加水平 CrPro supplemented level			SEM	P 值 P-value
	0	0.2	1.0		
绒毛高度 Villus height/μm	467.03	464.27	500.88	11.98	0.09
隐窝深度 Crypt depth/μm	92.07	88.24	86.72	2.29	0.27
绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	5.30^{b}	5.20^{b}	5.88^{a}	0.18	0.04

2.3 饲粮 CrPro 添加水平对大鼠血清指标的影响

由表 3 可知，饲粮 CrPro 添加水平对血清 TP、GLB 含量及 A/G 无显著影响（P>0.05）。相比对照组及 0.2 mg/kg 组，1.0 mg/kg 组显著提高了血清 ALB 含量（P＜0.05），而对照组与 0.2 mg/kg 组之间无显著差异（P>0.05）。与对照组相比，0.2、1.0 mg/kg 组显著提高了血清 UA 含量（P＜0.05），且 1.0 mg/kg 组显著高于 0.2 mg/kg 组（P＜0.05）。

表 3　饲粮 CrPro 添加水平对大鼠血清指标的影响

Table 3　Effects of dietary CrPro supplemented level on serum parameters of rats

项目 Items	CrPro 添加水平 CrPro supplemented level	SEM	P 值 P-value

	0	0.2	1.0		
总蛋白 TP/（g/L）	61.94	62.62	63.40	1.51	0.79
白蛋白 ALB/（g/L）	26.30^{b}	26.20^{b}	27.36^{a}	0.31	0.04
球蛋白 GLB/（g/L）	35.50	34.88	37.68	1.23	0.28
白球比 A/G	0.72	0.76	0.73	0.03	0.63
尿酸 UA/（μmol/L）	75.67^{c}	89.50^{b}	107.83^{a}	3.93	0.00

3 讨 论

3.1 饲粮 CrPro 添加水平对大鼠器官指数的影响

本研究发现饲粮 CrPro 添加水平对大鼠肝脏指数和肾脏指数无显著影响。与此相似，Bernao 等[13]对 Wistar 大鼠连续灌服不同水平（0、0.1、0.2、0.5 mg/d）的吡啶甲酸铬 12 d，发现腓肠肌指数、肝脏指数以及胴体指数在各处理间无显著差异。辜良英等[14]也发现，相比不添加 Cr 的对照组，饲粮中添加 0.3 mg/kg 的纳米铬和吡啶羧酸铬对 SD 大鼠心脏指数、肝脏指数、肾脏指数、睾丸指数以及后腿肌指数无显著影响，但在脾脏指数方面，吡啶羧酸铬组高于纳米铬组。在提高脾脏指数方面，本研究也发现，0.2 mg/kg 组比对照组和 1.0 mg/kg 组更有效，而对照组和 1.0 mg/kg 组间无差异。脾脏作为机体免疫器官，其重量的增加在一定意义上反映机体免疫机能的提高[15]。这提示我们，饲粮中添加 0.2 mg/kg 的 CrPro 可能在改善机体免疫性能方面有一定的作用。

3.2 饲粮 CrPro 添加水平对大鼠空肠黏膜形态的影响

本研究中饲粮 CrPro 添加水平对空肠绒毛高度、隐窝深度无影响，但影响二者的比值，其中 1.0 mg/kg 组能显著提高绒毛高度/隐窝深度，而 0.2 mg/kg 组与对照组之间无显著差异。类似地，李燕[5]发现饲粮中添加 0.2 mg/kg 的吡啶羧酸铬可显著增加 14 日龄热应激肉鸭的空肠绒毛高度/隐窝深度，并可显著增加 21 日龄热应激肉鸭的回肠绒毛高度/隐窝深度。王珏等[16]于热应激条件下在下蛋鸡饲粮中添加不同水平（0、0.07、0.15、0.22、0.29、0.37 μg/kg）的葡萄糖耐量因子 52 d，发现与对照组相比，0.37 μg/kg 组能极显著提高空肠绒毛高度，0.15 μg/kg 组能显著提高空肠绒毛高度。肠绒毛为小肠固有层和上皮共同凸向肠腔形成的叶状结构，可增大小肠的吸收面积，特别是绒毛高度/隐窝深度反映了肠道黏膜的功能状态，比值高说明小肠消化吸收功能增强。由此可知，饲粮中添加适量 Cr 可以改善肠黏膜形态，提高

小肠对营养物质的利用率。但也有研究指出，饲粮中添加不同水平（0、5、10、15 mg/kg）的六水合氯化铬（$CrCl_3 \cdot 6H_2O$）对獭兔十二指肠的绒毛高度、隐窝深度及绒毛高度/隐窝深度均无显著影响[17]。这可能是与 Cr 源的选择及添加水平有关。目前关于 Cr 对肠黏膜影响的研究还较少，需要加大这方面研究的关注度。

3.3 饲粮 CrPro 添加水平对大鼠血清指标的影响

本研究发现饲粮 CrPro 添加水平对大鼠血清 TP、GLB 含量及 A/G 无显著影响，这与 Bernao 等[13]、辜良英等[14]、闫祥洲等[18]、张敏红等[19]人的研究相一致。闫祥洲等[18]发现饲粮中添加 0.2 mg/kg 的甲基吡啶铬或酵母铬对断奶仔猪血清 TP、GLB 含量及 A/G 无显著影响。张敏红等[19]发现饲粮中添加 0.3 mg/kg 的吡啶羧酸铬对高温条件下饲养的阉公猪血浆 TP、GLB 含量也无显著影响。然而，侯小强等[20]在对早期断奶仔猪为期 35 d 的试验中发现，饲粮中添加 0.2 mg/kg 的吡啶羧酸铬对第 0、9、18、35 天血清 TP、GLB 含量无显著影响，但显著提高了第 27 天血清 TP、GLB 含量。王敏奇等[21]在肥育猪饲粮中添加 0.2 mg/kg 的不同铬源（氯化铬、吡啶羧酸铬、纳米铬）40 d，发现仅纳米铬和吡啶羧酸铬组显著提高了血清 TP 含量。由此可见，铬对动物血清 TP、GLB 含量的影响与试验取样观察时间及 Cr 源类型等有关。

另外，本研究发现，相比对照组及 0.2 mg/kg 组，1.0 mg/kg 组显著提高了血清 ALB 含量，而对照组与 0.2 mg/kg 组间无显著差异。这与 Moonsie-shageer 等[22]在牛上及秦健等[23]、程玉芳等[24-25]在鸡上的研究结果（Cr 添加水平为 0.2～1.0 mg/kg）一致。然而，闫祥洲等[18]、张敏红等[19]、侯小强等[20]在猪上的研究则表明血清 ALB 含量不受 Cr 添加水平（0.2～0.3 mg/kg）的影响。造成这种不同的结果可能与 Cr 的添加水平以及动物种类等有关，并且本试验基于无氮饲粮条件下，蛋白质供给不足可能对 Cr 发挥其作用产生影响，但目前关于 Cr 对蛋白质代谢的调节作用还不明确，需要进一步系统探究。

此外，在本研究中，相比对照组，0.2、1.0 mg/kg 组均显著提高了血清 UA 含量，且 1.0 mg/kg 组比 0.2 mg/kg 组提高效果更明显。陈强等[26]在肥育猪饲粮中添加不同水平（0、0.2、0.5、1.0 mg/kg）的烟酸铬 2 个月，发现 0.2 与 0.5 mg/kg 添加水平能显著降低血清 UA 含量，但 1.0 mg/kg 添加水平与对照组间无显著差异，并且随着 Cr 添加水平的提高，血清 UA 含量也呈现升高的趋势。Ernest 等[27]在不同蛋白质来源（酪蛋白、鱼粉、去皮大豆、棉籽）饲粮

中添加 100 mg/kg 的吡啶羧酸铬饲喂 Wistar 大鼠，发现仅酪蛋白、鱼粉组较相应的对照组显著提高了血清 UA 含量。这提示我们 Cr 对血清 UA 含量的作用效果不一，原因可能与 Cr 添加水平以及饲粮蛋白质来源有关。

4 结 论

无氮饲粮中添加适量 CrPro 能够提高 SD 大鼠脾脏指数，提高空肠绒毛高度/隐窝深度，提高血清 ALB 和 UA 含量，对改善机体免疫器官指数、肠黏膜形态及血清蛋白质代谢有一定的影响。

参考文献：

[1] LLOYD K E,FELLNER V,MCLEOD S J,et al.Effects of supplementing dairy cows with chromium propionate on milk and tissue chromium concentrations[J].Journal of Dairy Science,2010,93(10):4774–4780.

[2] LI Y S,ZHU N H,NIU P P,et al.Effects of dietary chromium methionine on growth performance,carcass composition,meat colour and expression of the colour-related gene myoglobin of growing-finishing pigs[J].Asian Australasian Journal of Animal Sciences,2013,26(7):1021–1029.

[3] 李斯丽.蛋氨酸铬作为饲料添加剂在生长肥育猪生产中的应用技术研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2013.

[4] 范春玲,兰明慧,周玉龙,等.酵母铬对围产后期奶牛免疫功能和泌乳性能的影响[J].中国畜牧杂志,2013,49(23):36–40.

[5] 李燕.有机铬对热应激肉鸭肠黏膜形态、HSP70 mRNA 和抗氧化能力的影响[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2013.

[6] CHEN N S C,TSAI A,DYER I A.Effect of chelating agents on chromium absorption in rats[J].Journal of Nutrition,1973,103(8):1182–1186.

[7] EMAMI A,GANJKHANLOU M,ZALI A.Effects of Cr methionine on glucose metabolism,plasma metabolites,meat lipid peroxidation,and tissue chromium in *Mahabadi* goat kids[J].Biological Trace Element Research,2015,164(1):50–57.

[8] BERNHARD B C,BURDICK N C,RATHMANN R J,et al.Chromium supplementation

alters both glucose and lipid metabolism in feedlot cattle during the receiving period[J].Journal of Animal Science,2012,90(13):4857–4865.

[9] WANG M Q,WANG C,DU Y J,et al.Effects of chromium-loaded chitosan nanoparticles on growth,carcass characteristics,pork quality,and lipid metabolism in finishing pigs[J].Livestock Science,2014,161:123–129.

[10] SCHROEDER H A,BALASSA J J,TIPTON I H.Abnormal trace metals in man-chromium[J].Journal of Chronic Diseases,1962,15(10):941–964.

[11] MERTZ W,ROGINSKI E E.Effects of chromium (Ⅲ) supplementation on growth and survival under stress in rats fed low protein diets[J].Journal of Nutrition,1969,97(4):531–536.

[12] REEVES P G,NIELSEN F H,FAHEY G C,Jr.AIN-93 purified diets for laboratory rodents:final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet[J].Journal of Nutriton,1993,123(11):1939–1951.

[13] BERNAO A,MESEGUER I,AGUILAR M V,et al.Effect of different doses of chromium picolinate on protein metabolism in infant rats[J].Journal of Trace Elements in Medicine and Biology,2004,18(1):33–39.

[14] 辜良英,许梓荣,查龙应,等.不同形式铬对 SD 大鼠生长性能、胴体组成和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2007,19(3):258–263.

[15] 马得莹,单安山,李群道.中草药添加剂对蛋雏鸡生长性能和免疫功能的影响[J].动物营养学报,2004,16(2):36–40.

[16] 王珏,郑艺梅,金光明,等.铬对热应激下蛋鸡空肠组织结构的影响[J].畜牧与兽医,2003,35(2):3–5.

[17] 王洪阳.铜、锰、铬和硒不同添加量对断奶獭兔生产性能、血清指标及十二指肠发育的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2012.

[18] 闫祥洲,张兆红.有机铬对断奶仔猪生长性能和免疫功能的影响[J].河南农业科学,2005(7):90–94.

[19] 张敏红,张卫红,杜荣,等.补铬对高温环境下猪的铬代谢,生理生化反应和生产性能的影响[J].畜牧兽医学报,2000,31(1):1–8.

[20]　侯小强,罗秉坤,张乃生,等.日粮补铬对早期断奶仔猪生产性能,血液理化和应激反应指标的影响[J].畜牧与兽医,2004,36(4):18–20.

[21]　王敏奇,许晓玲,雷剑,等.不同形式三价铬对肥育猪胴体组成和脂肪代谢的影响[J].畜牧兽医学报,2009,40(1):59–65.

[22]　MOONSIE-SHAGEER S,MOWAT D N.Effect of level of supplemental chromium on performance,serum constituents,and immune status of stressed feeder calves[J].Journal of Animal Science,1993,71(1):232–238.

[23]　秦健,杜荣,王俊东.酵母铬与 *L*-肉碱互作对肉鸡蛋白质代谢的影响[J].中国家禽,2011,33(3):22–25.

[24]　程玉芳,苗建民,孙黎,等.日粮铬水平对热应激种公鸡免疫功能及蛋白质代谢的影响[J].中国家禽,2011,33(17):19–21.

[25]　程玉芳,赵美林,靳玲品,等.$CrCl_3$ 对低温条件下种公鸡血清生化指标的影响[J].畜牧与兽医,2012,44(4):56–58.

[26]　陈强,蔡春标,李建生,等.添加烟酸铬对生长肥育猪的生长性能、代谢及组织学的影响[J].福建农业大学学报,2000,29(4):502–507.

[27]　ERNEST A K,GUSTAVE K K,SÉRAPHIN K C.Effect of chromium and proteins diets in rats[J].International Journal of Plant,Animal and Environmental Sciences,2012,2(2):1–8.

Effects of Chromium Supplemented Level in Nitrogen-Free Diets on Organ Indexes, Intestinal Mucosa Morphology and Serum Parameters of Rats

ZHENG Cancai　HUANG Yanling*

(*College of Life Science and Technology*, *Southwest University for Nationalities*, *Chengdu* 610041, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different chromium propionate （CrPro） level in nitrogen-free diets (NFD) on organ indexes, intestinal mucosa

morphology and serum parameters of rats. According to body weight, a total of 36 weaned Sprague Dawley（SD）rats were allotted to 3 treatments with 6 replicates per treatment and 2 rats per replicate. Rats were fed a basal NFD (control group) containing 0.08 mg/kg Cr, meanwhile, the basal diets supplemented with 0.2 or 1.0 mg/kg Cr from CrPro for 21 days. The results showed that compared with the control group, 1) dietary supplemented with 0.2 mg/kg CrPro significantly improved spleen index (*P*<0.05). 2) Dietary supplemented with 1.0 mg/kg CrPro significantly increased the ratio of villous height to crypt depth (*P*<0.05). 3) Dietary supplemented with 1.0 mg/kg CrPro significantly improved serum albumin and uric acid content (*P*<0.05). It is concluded that under NFD condition, the proper Cr supplementation has some effects on improving immune organs indexes, intestinal mucosa morphology and serum protein metabolism.

Key words: nitrogen-free diets; CrPro; organ indexes; intestinal mucosa; serum parameters

---

∗Corresponding author, professor, E-mail: swunylh@163.com　　　　（责任编辑　武海龙）